



การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆในระบบจันรวมแสงอาทิตย์

Investigation and Comparison on Solar Receiving Efficiency of Various Shape Receivers in Solar Concentrator System

นัทธมน เขียวอ่อน¹, สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง1 เขตลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10520

*ติดต่อ: E-mail sutapat.kw@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-329-8351, เบอร์โทรสาร 02-329-8352

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอการออกแบบและวิเคราะห์ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ของตัวรับแสง พร้อมทั้งเปรียบเทียบลักษณะการรับแสงของรูปทรงแบบต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดและรูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์แต่ละรูปทรงต่อประสิทธิภาพการรับแสง ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์หารูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการรับแสงสูงที่สุด โดยคำนึงถึงลักษณะการรับแสงและการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ ตัวรับแสงมีทั้งหมด 5 รูปทรง คือ รูปทรงกรวย , รูปทรงกลม , รูปทรงกระบอก , รูปทรงโดม และ รูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย โดยมีการกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงมีขนาดเท่ากัน โดยมีขนาด 10% ของขนาดจันรวมแสง และพื้นที่ผิวภายในเท่ากัน โดยในการศึกษานี้มีขนาดจันรวมแสงเท่ากับ 3.20 เมตร ซึ่งในการวิเคราะห์คำนวณการติดตามรังสีเพื่อหาวิถีเส้นทางของรังสีซึ่งจำลองด้วยโปรแกรม Comsol mutiphysics อาศัยหลักการ Finite element analysis (FEA) เพื่อประเมินสมรรถนะการรับแสงของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ ผลที่ได้จากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การกระจายฟลักซ์บนพื้นผิวภายในของตัวรับมีผลต่อประสิทธิภาพของตัวรับแสง และพบว่าตัวรับแสงรูปทรงกรวยนั้น มีการกระจายฟลักซ์ความร้อนดีกว่ารูปทรงอื่นๆ และตำแหน่งที่ดีของตัวรับแสงจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวรับแสงอีกด้วย ซึ่งตัวรับแสงรูปทรงกรวยที่ตำแหน่งจุดโฟกัสอยู่ภายในตัวรับแสง จะมีการกระจายฟลักซ์ความร้อนดีที่สุด จากผลการวิจัยจะสามารถนำไปพัฒนาการออกแบบขนาดตัวรับแสงให้เหมาะสมกับจันรวมแสงขนาดอื่นๆ สำหรับการนำมาใช้งานจริง

คำหลัก: ตัวรับแสงอาทิตย์, การติดตามรังสี, รูปทรงตัวรับแสง

Abstract

This paper presents design and analysis of solar receivers in order to investigate and compare effects of solar receiver geometries on optical characteristic and receiving efficiency. This research focuses on five different geometric solar receivers including 1.conical 2.spherical 3.cylindrical 4.dome and 5.combined between cylindrical and conical shape. The best shape providing the highest optical efficiency is evaluated by consideration of solar ray characteristic and heat flux distribution. The controlled parameters of the receivers are identical in aperture diameter and internal surface

area. In the numerical investigation, the aperture diameter is 10% of solar concentrator's diameter and the solar concentrator has rim diameter of 3.20 m. Comsol multiphysics program is used to simulate the ray trajectories based on the principle of finite element analysis (FEA). The results showed that the conical shape gives the highest heat flux and optical efficiency while the focal point should be located inside the receiver. From the analytic results of research can be used to design the suitable solar receiver and develop solar receiving performance.

Keywords: Solar receiver, Ray tracing, Receiver's shape, Solar collector.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากพลังงานทดแทนอย่างแพร่หลาย เพื่อผลิตพลังงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและเพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งระบบจันรวมแสงพาราโบลาก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถผลิตพลังงานทดแทนได้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และในระบบจันรวมแสงพาราโบลานี้ จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญที่เรียกว่า “ตัวรับแสง” ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแสงในระบบ ดังนั้นในตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่ในการวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การสูญเสียความร้อนและความสัมพันธ์ของรูปทรงตัวรับ เพื่อให้ตัวรับประเมินค่าได้นั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับ [1-2] ผู้ทำการวิจัยส่วนใหญ่มักจะละเลยการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรูปทรงเรขาคณิตแบบต่างๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลที่กำลังทำงาน เมื่อไม่นานมานี้ มีการวิจัยจำนวนมากทำการทดลองเกี่ยวกับระบบ solar tower [3], เครื่องยนต์สเตอร์ลิง [4] และการเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักร solar Brayton [5] นอกจากนี้ ยังมีการวิจัยหลายแห่งที่วิจัยเกี่ยวกับการสูญเสียความร้อนของ รูปทรง, ขนาด และตำแหน่งของตัวรับ ตัวอย่างเช่น เรื่องการพาความร้อนและการแผ่รังสีของการปรับเปลี่ยนครึ่งวงกลมของช่องตัวรับที่มีครึ่ง นำไปใช้กับจันพาราโบลาส่งอาทิตย์ มีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข [6] และแสดงให้เห็นว่า มีการสูญเสียการพาความร้อนเป็นอย่างมาก ซึ่งมีอิทธิพลจากจำนวนของครีบและการเอียงของตัวรับ ในทางกลับกัน

การสูญเสียการแผ่รังสี เป็นผลมาจากคุณสมบัติของพื้นผิวภายในตัวรับแสง อิทธิพลของการหมุนของการพาความร้อนในช่องรับแสง สำหรับนำไปใช้กับจันพาราโบล่า [7]

มีการวิเคราะห์การทดลองการสูญเสียความร้อนจากช่องตัวรับแสงอาทิตย์ทรงกระบอกสำหรับการนำไปใช้กับจันพาราโบล่าที่ส่องอัตราส่วน และความโน้มเอียงตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศา [8] แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผนังของตัวรับ ขึ้นอยู่กับการเอียงของช่องตัวรับ นอกจากนี้ความร้อนที่ได้รับทั้งหมด ที่พื้นผิวภายในตัวรับแสงและบริเวณใกล้เคียงรูรับแสง นั้นพบว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้การแผ่รังสีมีการสูญเสียมาก [9]

ดังนั้นบทความนี้จะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพของแสงและการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับรูปทรงต่างๆ ทั้งหมดห้ารูปทรง คือ รูปทรงกรวย ,รูปทรงกลม ,รูปทรงกระบอก ,รูปทรงโดม และ รูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย ซึ่งจะใช้การจำลองการติดตามรังสีด้วยโปรแกรม Comsol mutiphysics ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งโปรแกรมนี้ได้ใช้หลักการ Finite element analysis (FEA) เพื่อประเมินผลตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ โดยในการออกแบบรูปทรงเพื่อการนำไปวิเคราะห์ จะคำนึงถึงขนาดของ พื้นผิวตัวรับ,รูรับแสง และขนาดของจันรวมแสง รวมไปถึงจุดโฟกัส และค่าต่างๆของการสะท้อนแสงทั้งหมด

2. การสูญเสียทางแสง

การสูญเสียของแสง ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับ การสร้างและความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างหรือ คุณสมบัติของวัสดุ [10-11] ประเภทของการสูญเสีย สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ความเสียหายที่เกิดการรั่วไหล เป็นส่วนหนึ่งของรังสีกระทบภายนอกที่รับแสงของตัวรับ ซึ่งสามารถเพิ่มการสูญเสียถึง 1-3%

- การสูญเสียจากเงา เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนของพื้นที่สะท้อนของจานซึ่งเป็นเงาโดยตัวรับแสง แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียประเภทนี้จะลดลง ถ้าพื้นที่รับแสงของจานมีขนาดใหญ่กว่าตัวรับแสงมาก

- การสูญเสียจากการสะท้อนแสง มีความแตกต่างกันระหว่าง พลังงานที่ตกลงบนจานรวมแสง และ พลังงานที่สะท้อนออกมาจากจานรวมแสง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ และการสูญเสียนี้ ประมาณ 6-10% จากพลังงานที่เข้ามาหรือพลังงานที่ได้รับ

- การสูญเสียจากการส่งผ่าน เป็นปริมาณของพลังงานที่สูญหายไปในอากาศ เมื่อมันเคลื่อนที่จากจานรวมแสงไปยังตัวรับแสง ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณการสูญเสียถึง 2-4%

- การสูญเสียจากการดูดกลืน การเข้ามาหรือ การรับพลังงานสามารถถูกดูดกลืนโดยวัสดุที่ใช้ในการทำตัวรับแสง ซึ่งทำให้เกิดความเค้นทางความร้อน

การสูญเสียทั้งหมดนี้ได้นำมาคำนวณในการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพแสงของการตรวจสอบ ทั้ง 5 รูปทรงเรขาคณิต แต่การสูญเสียอันเนื่องมาจากข้อผิดพลาด, มาจากโครงสร้าง, การติดตาม, การจัดตำแหน่ง และเซ็นเซอร์ไม่ได้นำมาคิด ส่วนประสิทธิภาพของแสงของตัวรวมแสงพาราโบล่าสามารถแสดงได้โดยใช้สมการที่ (1) ในขณะที่ประสิทธิภาพแสงของตัวรับ ได้รับพิจารณาโดยใช้สมการ (2)

$$\eta_{0Conc} = \frac{Q_r}{Q_s} \quad (1)$$

ที่ Q_r คือ พลังงานที่ไปถึงพื้นที่ผิวรับแสงของจานรวมแสงพาราโบล่า และ Q_s คือ พลังงานที่ออกมาจากจานรวมแสงพาราโบล่า

$$\eta_{0Rec} = \frac{Q_u}{Q_{rec}} \quad (2)$$

ซึ่ง Q_u เป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ ที่ถูกส่งไปให้ของไหลทำงาน ในขณะที่ Q_{rec} เป็นปริมาณของพลังงานซึ่งได้รับจากตัวรับแสง เป็นที่รู้กันว่า Q_{rec} มีค่าที่ต่างจาก Q_r เพราะว่า บางครั้งไม่สามารถทำให้พลังงานทั้งหมดที่ออกจากจานรวมแสงพาราโบล่าไปถึงที่ตัวรับแสง

3. การออกแบบจานรวมแสงพาราโบล่า

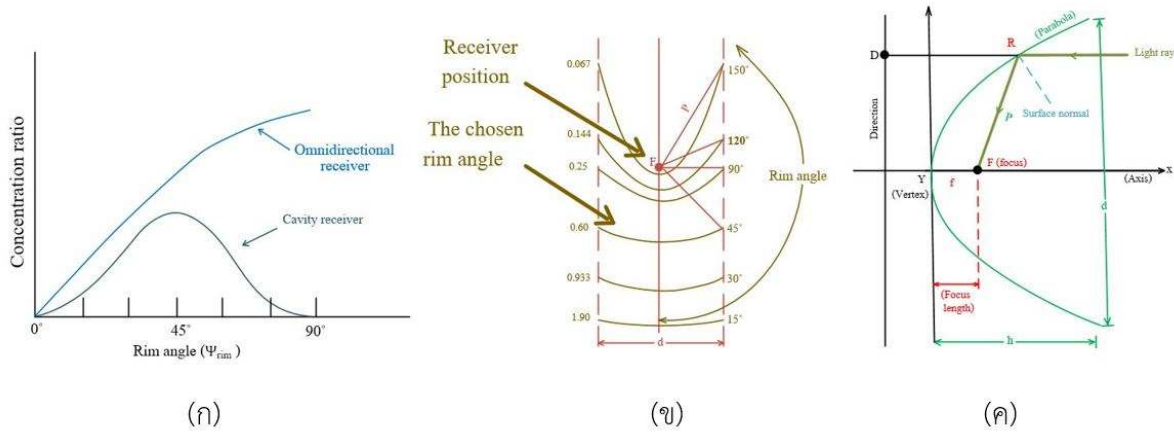
จานรวมแสงพาราโบล่าในการจำลองนี้จะใช้ขนาดของจานพาราโบล่าจากจานพาราโบล่าที่เราถืออยู่จริง คือ 3.20 เมตร และมุมขอบ 45 องศา ซึ่งมีค่าอัตราส่วนความเข้มข้นสูงสุด [12] ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนี้ยังให้จำนวนฟลักซ์ที่ได้รับสูงสุด เมื่อเทียบกับมุมขอบอื่นๆ รูปที่ 1x และ รูปที่ 1c แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรูปทรงเรขาคณิต ความยาวของโฟกัสสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) – (5) [12]

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (3)$$

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\psi_{rim}}{2}\right)} \quad (4)$$

$$p = \frac{2f}{1 + \cos\psi_{rim}} \quad (5)$$

ที่ h , d , f , ψ_{rim} และ p เป็นระยะทางสูงสุด (ความลึก) ระหว่างจุดสูงสุดและเส้นที่ลากผ่านรูรับแสงของเส้นโค้ง, เส้นผ่านศูนย์กลางรูรับแสง, ความยาวโฟกัส, มุมขอบรูปโค้ง และรัศมีรูปโค้ง ตามลำดับ



รูปที่ 1 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นทางเรขาคณิตและมุมขอบ, (ข) ตัวอย่างส่วนของเส้นโค้งกับจุดโฟกัส F และเส้นผ่านศูนย์กลางรับแสงที่เหมือนกัน และ (ค) ส่วนของเส้นโค้ง

นอกจากนี้มุมขอบสามารถกำหนดได้โดยใช้สมการ (6)

$$\tan \psi_{rim} = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h} - \frac{2h}{d}\right)} \quad (6)$$

พื้นที่รับแสงของจานพาราโบลา สามารถคำนวณได้จากสมการ (7)

$$A_a = \frac{\pi}{4} (2p \sin \psi_{rim})^2 \quad (7)$$

ที่ $2p \sin \psi_{rim}$ คือ สมการเส้นผ่านศูนย์กลางรับแสงของจานพาราโบลา

สมการ (5) และ (7) สามารถรวมกันเพื่อให้สมการ (8)

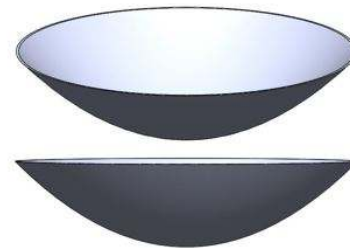
$$A_a = 4\pi f^2 \frac{\sin^2 \psi_{rim}}{(1 + \cos \psi_{rim})^2} \quad (8)$$

โดยพิจารณาจุดกำเนิดที่จุดสูงสุด V และแกน Y ขนานกับแกนของเส้นโค้งที่วาดตัวรวมแสงพาราโบลาซึ่งได้ขึ้นนำโดยสมการ (9)

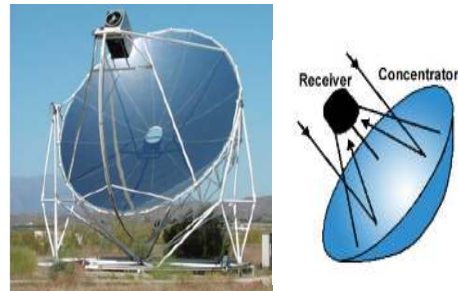
$$Y = \frac{X^2}{4f} \quad (9)$$

4. ขั้นตอนการทดลอง

งานพาราโบลา ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ วาดด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 และตำแหน่งที่ตั้งของตัวรับแสงในระบบจานรวมแสงจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3 และขนาดของตัวรับแสงในรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 5 แบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2



รูปที่ 2 จานรวมแสงพาราโบลา



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งของตัวรับแสงในระบบจานรวมแสง

ตารางที่ 1 ขนาดของจานรวมแสงพาราโบลา

	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (m)	ความ สูง (m)	ความ หนา (m)	พื้นที่ รับแสง (m ²)
จาน รวมแสง พาราโบลา	3.2	0.67	0.01	9.32

ตารางที่ 2 ขนาดของตัวรับแสง

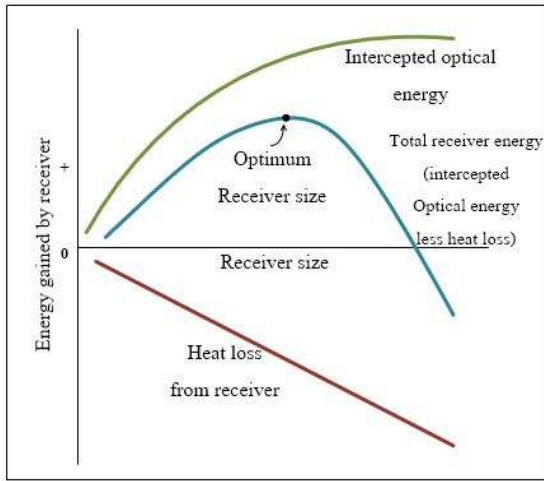
รูปทรง ตัวรับแสง	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (m)	ความ สูง (m)	ความ หนา (m)	พื้นที่ผิว ภายใน (m ²)
1. ทรงกรวย	0.32	0.40	0.01	0.32
2. ทรงกลม	0.32	0.29	0.01	0.32
3. ทรงกระบอก	0.32	0.26	0.01	0.32
4. ทรงโดม	0.32	0.33	0.01	0.32
5. รูปทรงผสม	0.32	0.25	0.01	0.32

ในการจำลองนี้จะใช้ขนาดของจานพาราโบลา จากจานพาราโบลาที่เรามีอยู่จริงและออกแบบขนาดของ ตัวรับแสงของแต่ละรูปทรงให้เหมาะสมกับขนาดของจาน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพแสงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตาราง ข้างต้น การจำลองด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ติดตามรังสี ได้ถูกใช้ในการคาดการณ์พลังงานได้รับในแต่ละพื้นผิว รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับซอฟต์แวร์นี้ มีการกล่าวถึงในหัวข้อที่ 6 ซอฟต์แวร์นี้ใช้ Monte - Carlo algorithm ในการวิเคราะห์เป็นวิธีการที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายสำหรับการ จำลองที่แม่นยำ วิธีการนี้ยอมรับเป็นจำนวนมากสำหรับ รังสีที่นำไปใช้ในการสุ่มแนวทางเมื่อกระทบกับพื้นผิว แต่ละรังสีที่ส่งผ่านในจำนวนพลังงานที่เท่ากัน และมีทิศทาง ที่แน่นอนแล้ว จากความน่าจะเป็นของความหนาแน่นที่ เหมาะสม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิว (การแผ่รังสี, การสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสง)

การศึกษาทั้งหมดที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ได้ใช้การ วิเคราะห์ 2 มิติ ที่บันทึกจำนวนพลังงานที่ระนาบ 2 มิติ จุดอ่อนของการวิเคราะห์ประเภทนี้ก็คือว่าไม่แม่นยำ เท่าที่ควรสำหรับจำลองพลังงานที่ได้รับจากรูปทรง เรขาคณิต 3 มิติ ในขณะที่มันเป็นเพียงการอ่านพลังงานที่ ผ่านพื้นที่รับแสงของตัวรับแต่ละรูปทรง และด้วยเหตุนี้ ค่าของพลังงานจะเกือบเท่ากัน ซึ่งโปรแกรม Comsol mutiphysics สามารถใช้ตรวจจับ 3 มิติ ซึ่งมีความสามารถในการอ่านค่าฟลักซ์ในทุกจุดเดี่ยวได้อย่าง แม่นยำ ดังนั้นจึงเน้นที่ผลกระทบของรูปทรงเรขาคณิต เป็นปัจจัยหลัก ทั้งในแง่ของจำนวนของฟลักซ์ที่ได้รับและ การกระจายภายในรูปทรงของตัวรับแสง ตลอดจน ตำแหน่งของตัวรับแสง ซึ่งได้มีการตรวจสอบอัตราส่วน ของฟลักซ์ที่ได้รับ และฟลักซ์ที่กักเก็บไว้ภายในตัวรับแสง

5. การออกแบบตัวรับแสง

ในตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ องค์ประกอบหลัก ของตัวรับแสง เป็นการเชื่อมโยงระหว่างการทำงานของ พลังงานที่เข้ามา (รับพลังงานสะท้อนจากจานพาราโบลา) และการทำงานของของไหลภายในตัวรับแสง หลังจากนั้น ก็ให้พลังงานกับระบบ แล้วแปลงเป็นพลังงานที่ต้องการใน รูปแบบของความร้อนหรือพลังงานจลน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึง ต้องการตัวรับแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดี อีกหนึ่งในปัจจัย หลักเกี่ยวกับตัวรับแสง คือ ขนาด ซึ่งจะต้องหาขนาด ตัวรับแสงที่เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงด้วย เพื่อที่จะลดการสูญเสียความร้อน [12] ดังแสดงในรูปที่ 4



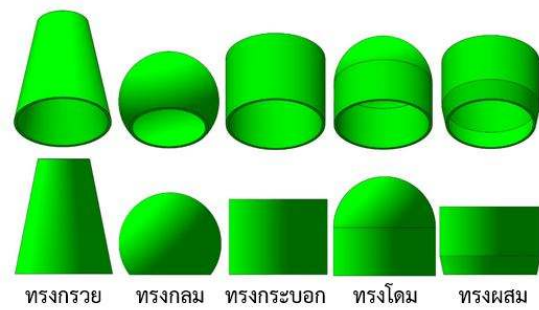
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวรับแสงกับพลังงานที่ได้รับ

รูปทรงตัวรับแสงทั้ง 5 แบบ ที่ทำการวิเคราะห์จะใช้ โปรแกรม Comsol multiphysics ในการวาดรูปทรงต่างๆเพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งตัวรับแสงแต่ละรูปทรงจะมีพื้นผิวภายในและขนาดรูรับแสงเท่ากัน โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงนั้น คิดเป็น 10% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจานรวมแสง

6. การจำลองเชิงตัวเลขของแบบจำลอง

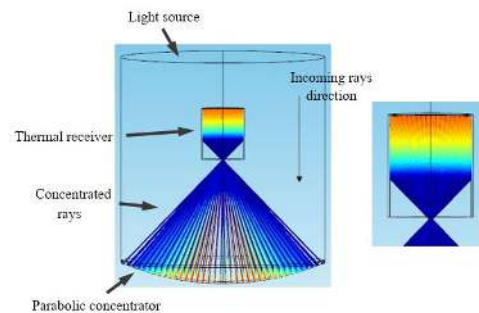
โปรแกรม Comsol multiphysics เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจำลองประสิทธิภาพการทำงานของแสงของระบบตัวรับแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานของเทคนิคการติดตามรังสี ด้วยคุณสมบัติพิเศษโดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจจับ 3 มิติ ซอฟต์แวร์มีความสามารถที่จะดูว่าอะไรเข้าไปภายในช่องตัวรับแสง และแสดงให้เห็นว่าการกระจายฟลักซ์บนผนังของช่องตัวรับแสง ในงานวิจัยนี้รูปทรงของตัวรับแสงทั้ง 5 รูปทรงที่แตกต่างกัน (รูปทรงกรวย, รูปทรงกลม, รูปทรงกระบอก, รูปทรงโดม และรูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย) ดังแสดงในรูปที่ 5 และ จุดมุ่งหมายหลักของการจำลองนี้คือการตรวจสอบผลกระทบของรูปทรงของช่องตัวรับ และฟลักซ์ที่สูญเสียไปจากตัวรับ ดังนั้นแต่ละรูปทรงนั้นได้

จำลองมาจาก Comsol multiphysics ซึ่งมีการติดตามรังสีเพื่อที่จะตรวจสอบจำนวนของฟลักซ์ที่ได้รับ โดยตัวรับแสงของแต่ละตัวจะมีดวงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยกำหนดให้พลังงานที่ปล่อยออกมา มีค่าเท่ากับ 9,320 วัตต์ (ซึ่งได้มาจากพื้นที่รูรับแสง คูณกับค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์) ตัวตรวจจับที่บันทึกจำนวนของฟลักซ์ที่เข้ามาจากแหล่งที่มาตลอดจนฟลักซ์สะท้อนนั้น แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ในการรับแสงของตัวรับแสง ซึ่งตำแหน่งของตัวรับแสงนั้นได้ตั้งอยู่ที่จุดโฟกัสโดยจุดโฟกัสขึ้นอยู่กับมุมขอบและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรวมแสงพาราโบลา โดยรูปที่ 6 นั้นแสดงระบบจานรวมแสงพาราโบลาจากโปรแกรมจำลอง และรูปที่ 7 ได้แสดงแผนผังรูปแบบกระบวนการทำงานของระบบจานรวมแสงพาราโบลาในโปรแกรม Comsol multiphysics

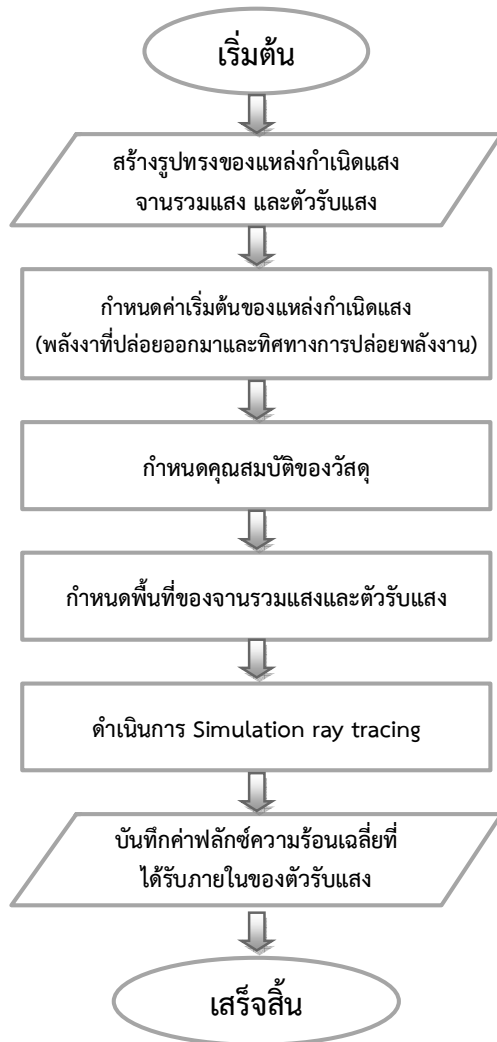


ทรงกรวย ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงโดม ทรงผสม

รูปที่ 5 ตัวรับแสงทรงเรขาคณิต 5 รูปแบบ ในมุมมองสามมิติและสองมิติ



รูปที่ 6 ระบบจานรวมแสงพาราโบลาจากโปรแกรมจำลอง



รูปที่ 7 แสดงแผนผังรูปแบบกระบวนการทำงานของระบบจานรวมแสงพาราโบลาในโปรแกรม Comsol multiphysics

7. ผลสรุปและการอภิปราย

7.1 ผลกระทบของตำแหน่งของตัวรับแสง

รูปทรงและตำแหน่งของตัวรับแสงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแสงที่ได้รับ และการกระจายฟลักซ์ความร้อน การตรวจวัดแบบสามมิตินี้ ได้ช่วยในการสร้างลักษณะของรูปแบบการทำงานจนถึงการติดตามรังสีตลอดจนติดตามผลลัพธ์ในเวลาเดียวกัน รูปที่ 8 – รูปที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของผลกระทบดังกล่าวสำหรับแต่ละ

ตำแหน่งจากระยะห่างของจานพาราโบลา กับตัวรับแสง ที่ใช้วิเคราะห์นั้น จะแบ่งเป็น 10 ตำแหน่ง ซึ่งจุดโฟกัสของจานพาราโบลา อยู่ที่ระยะ 955 mm. จึงตั้งขอบเขตไว้ที่ตำแหน่ง 890 – 980 mm. โดยเลื่อนตำแหน่งทีละ 10 mm. และสำหรับรูปทรงตัวรับแสงทรงกรวย รูปที่ 8 ตำแหน่งที่ได้รับจำนวนของฟลักซ์สูงสุด เมื่อตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายไปสู่จานรวมแสง และจุดโฟกัสอยู่ที่ภายในตัวรับแสง ในลักษณะเดียวกัน รูปที่ 9 แสดงให้เห็นผลจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวรับแสงรูปทรงกลม ตำแหน่งที่มีการกระจายที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงนั้นได้ขยับตัวออกจากจานรวมแสง เพื่อให้จุดโฟกัสอยู่ด้านนอกตัวรับแสง เช่นเดียวกับกับรูปทรงกระบอก รูปที่ 10 ที่มีการกระจายที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงนั้นได้ขยับตัวออกจากจานรวมแสง ในส่วนของรูปทรงโดม รูปที่ 11 ตำแหน่งที่มีการกระจายฟลักซ์ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงอยู่ที่บริเวณจุดโฟกัส เช่นเดียวกับกับรูปทรงผสม รูปที่ 12

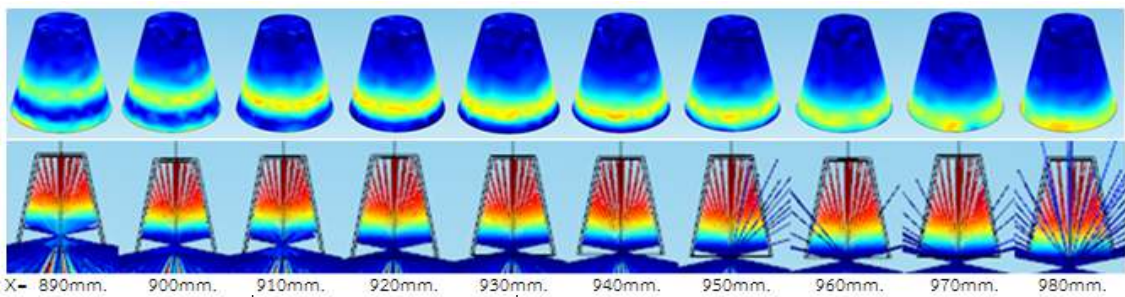
ในตำแหน่งที่ตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายออกห่างจากจานรวมแสงมากๆ ทุกๆรูปทรงของตัวรับแสง จะเห็นได้ว่ามีการรั่วไหลหรือลำแสงไม่เข้าสู่ตัวรับแสงทำให้จำนวนฟลักซ์ลดลง และในตำแหน่งที่ตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายไปสู่จานรวมแสงมากๆ ก็เห็นได้ว่า ลำแสงไม่เข้าสู่ตัวรับแสงเช่นกัน

7.2 ผลกระทบของรูปทรงช่องตัวรับ

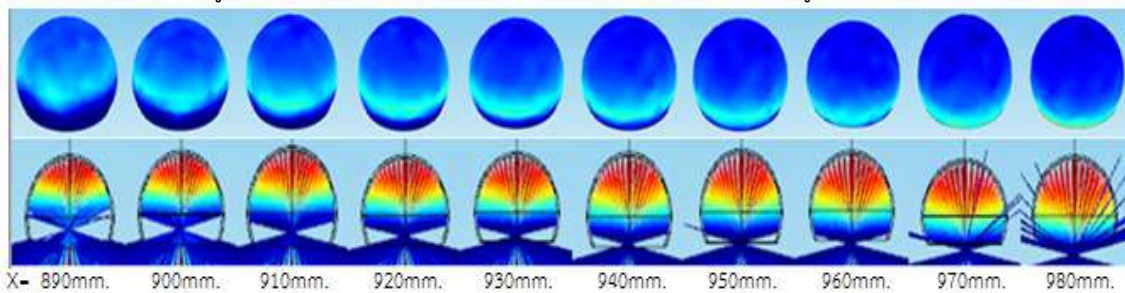
เป็นที่ชัดเจนว่ารูปทรงของตัวรับแสงมีบทบาทในแง่ของจำนวนของพลังงานที่จะได้รับ, สะท้อน และสูญเสีย หลังจากรังสีตกกระทบบนผนังของตัวรับ มีความเป็นไปได้ที่แตกต่างกันสองอย่าง คือ ทั้งจะถูกดูดซึมได้โดยตรงจากผนังหรือสะท้อนออกโดยภายในพื้นผิวของช่องตัวรับ โดยภายในนั้น ขณะที่รังสีถูกดูดซึมจะวัดเป็นพลังงานที่เป็นประโยชน์รังสีที่สะท้อนนั้นมีความแตกต่างที่เป็นไปได้สองอย่าง ทั้งไปกระทบกับส่วนหนึ่งของพื้นที่ผิวช่องตัวรับ และการกระทำเช่นนั้นจะทำให้รังสีมีโอกาสถูกดูดซึมด้วยผนังภายในของช่องตัวรับ และนำมา

คำนวณเป็นพลังงานที่เป็นประโยชน์ อีกทั้งยังพิจารณาพลังงานที่สูญเสียไป ดังนั้นรูปทรงของตัวรับแสงมีบทบาทสำคัญในแง่ของการสะท้อนรังสี เป็นผลให้รูปทรงมีผลกระทบในการนำมาตรวจสอบเพื่อที่จะทราบแนวทางในการติดตามของแต่ละรูปทรง จากรูปที่ 13 แสดงให้เห็นว่า รูปทรงกรวยมีค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสี่รูปทรงของตัวรับแสง ซึ่งพลังงานที่ถูกดูดกลืนสูงสุด สำหรับรูปทรงกรวย ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงโดม และทรงรูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย คือ 8,410, 8,261, 8,121, 8,393 และ 8,347 วัตต์ ที่ 910, 960, 960, 950 และ 950mm. ตามลำดับ

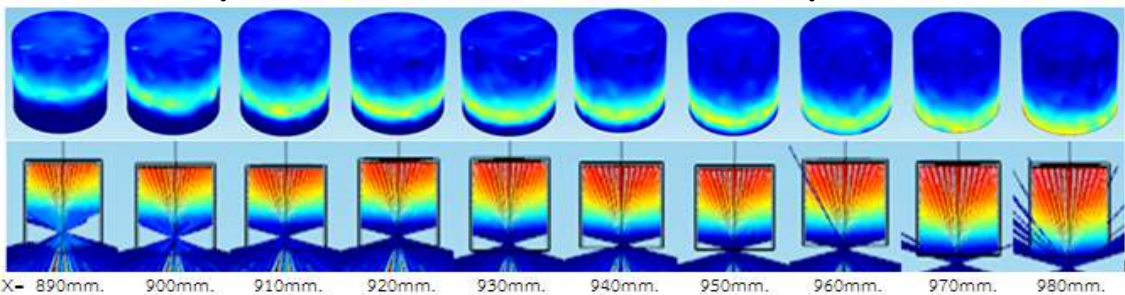
รูปที่ 14 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพแสงสำหรับห้ารูปทรง ที่ระยะทางโฟกัสที่แตกต่างกัน จากรูปจะเห็นว่า ที่ตัวรับแสงทรงกรวย และทรงผสม มีประสิทธิภาพแสงสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 90.9% และ 90.4% ตามลำดับ ตัวรับแสงทรงกระบอกมีประสิทธิภาพแสงต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ 85.5% ส่วนตัวรับแสงทรงกลม และทรงโดม มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 87.3% และ 88.9% ตามลำดับ



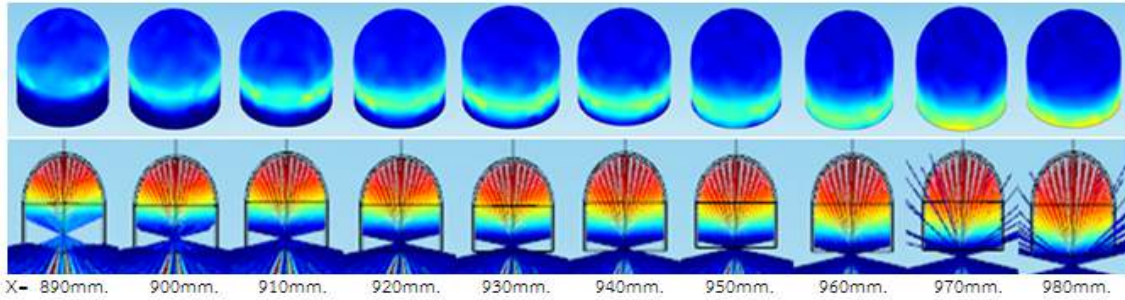
รูปที่ 8 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกรวย



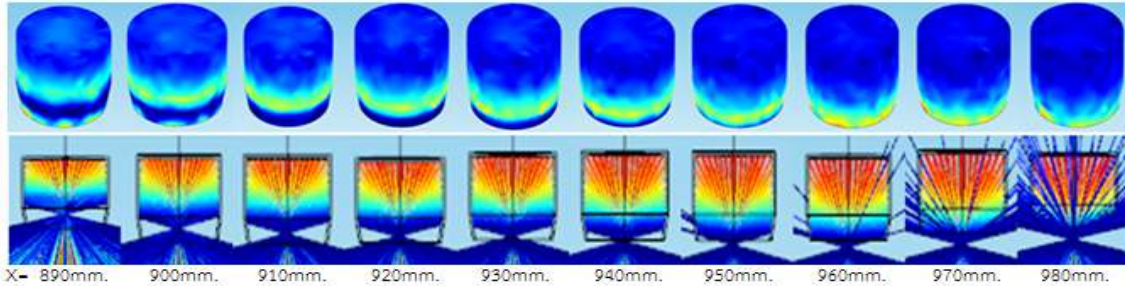
รูปที่ 9 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกลม



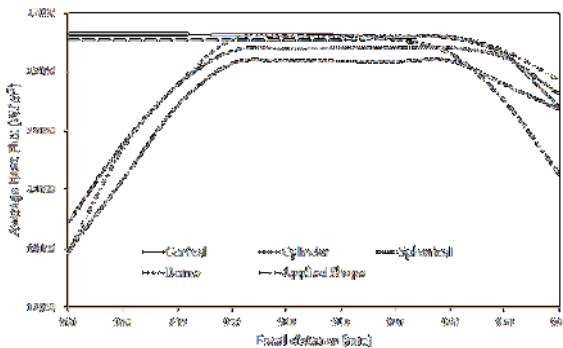
รูปที่ 10 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกระบอก



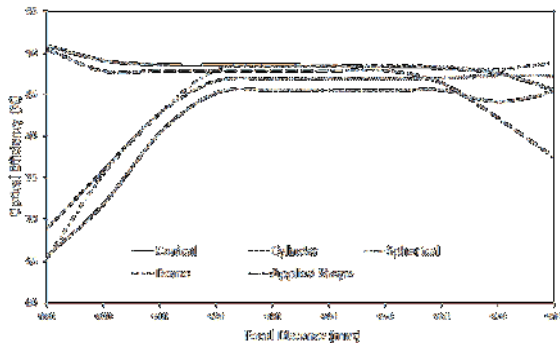
รูปที่ 11 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงโดม



รูปที่ 12 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงผสม



รูปที่ 13 ค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนสำหรับตัวรับแสงทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน



รูปที่ 14 ประสิทธิภาพแสงสำหรับตัวรับทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน

8. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการทำงานของตัวรับแสงรูปทรงเรขาคณิตทั้งห้าแบบที่แตกต่างกัน คือ ทรงกรวย , ทรงกลม , ทรงกระบอก , ทรงโดม และทรงผสม โดยมีจำลองการติดตามรังสีเพื่อคำนวณวิถีเส้นทางของรังสี ของแต่ละรูปทรง โดยใช้โปรแกรม Comsol multiphysics ผลที่ได้รับได้สรุปเป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1). รูปทรงกรวยสามารถเก็บพลังงานที่เข้ามาได้เป็นจำนวนมากที่สุดจากจานรวมแสง เมื่อเทียบกับอีกสี่รูปทรงอื่นๆ ประสิทธิภาพแสงสูงสุดของแต่ละรูปทรงอยู่ที่ 90.9%, 90.4%, 88.9%, 87.3% และ 85.5% สำหรับ ทรงกรวย, ทรงผสม, ทรงโดม, ทรงกลม และทรงกระบอกตามลำดับ

2). ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ทำให้ตัวรับแสงได้ค่าพลังงานสูงสุดของตัวรับแสงแต่ละรูปทรง คือ

- รูปทรงกรวย เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 910 มิลลิเมตร
- รูปทรงกลม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 960 มิลลิเมตร
- รูปทรงกระบอก เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 960 มิลลิเมตร
- รูปทรงโดม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 950 มิลลิเมตร



- รูปทรงผสม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 950 มิลลิเมตร จากรูปทรงเรขาคณิตทั้งหมด ได้มีการพัฒนาและจำลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งมันสามารถสรุปได้ว่า รูปทรงโดมมีการกระจายฟลักซ์ได้ดีที่สุด

3). รูปทรงกรวยมีความสม่ำเสมอของการส่องสว่างที่ดีที่สุดของค่าระยะโฟกัสทั้งหมด

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (OHEC) และ Green Energy Engine Research Laboratory ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การช่วยเหลือในทุกๆด้าน ทำให้บทความฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thakkar Vanita, Ankush Doshi, and Akshaykumar Rana, “Performance analysis methodology for parabolic dish solar concentrators for process heating using thermic fluid”.
- [2] Lovegrove Keith, Stein Wes, editors, “Concentrating solar power technology:Principles, developments and applications”, Elsevier; 2012.
- [3] Carrizosa E, et al. “Optimization of multiple receivers solar power tower systems”, Energy 2015;90:2085-93.
- [4] Beltran-Chacon Ricardo, et al. “Design and analysis of a dead volume control for a solar Stirling engine with induction generator”, Energy 2015;93:2593-603.
- [5] Goodarzi Mohsen, Kiasat Mohsen, Khalilidehkordi Ehsan. “Performance analysis of

a modified regenerative Brayton and inverse Brayton cycle”, Energy 2014;72:35-43.

[6] Ngo LC, Bello-Ochende Tunde, Meyer Josua P. “Three-dimensional analysis and numerical optimization of combined natural convection and radiation heat loss in solar cavity receiver with plate fins insert”, Energy Convers Manag 2015;101:757-66.

[7] Wu Wei, et al. “On the influence of rotation on thermal convection in a rotating cavity for solar receiver applications”, Appl Therm Eng 2014;70(1):694-704.

[8] Abbasi-Shavazi E, Hughes GO, Pye JD. “Investigation of heat loss from a solar cavity receiver”, Energy Procedia 2015;69:269-78.

[9] Fleming Austin, et al. “A general method to analyze the thermal performance of multi-cavity concentrating solar power receivers”, Sol Energy 2015.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.007>.

[10] Feuermann Daniel, Gordon Jeffrey M. “High-concentration photovoltaic designs based on miniature parabolic dishes”. Sol Energy 2001;70.5:423-30.

[11] Segal Akiba, Epstein Michael. “Optimized working temperatures of a solar central receiver”, Sol Energy 2003;75.6:503-10.

[12] Stine William B, Geyer Michael. “Power from the sun”, 2001.